第46講　ハーディ・ワインベルグの法則，分子時計

■ハーディ・ワインベルグの法則

以下の５つの条件を満たす集団（メンデル集団）において，

- 個体の生存率，繁殖率に差がない
- 自由交配である
- 突然変異が起きない
- 個体の流入出がない
- 集団のサイズが十分に大きい

⇒

①遺伝子頻度と遺伝子型頻度の相互計算が可能。
②世代を経ても遺伝子頻度は変化しない。

あるメンデル集団において，対立遺伝子Ａとａの頻度が0.6と0.4であるとき，

遺伝子頻度

A	a
0.6	0.4

→

遺伝子型頻度

AA　　Aa　　aa

別のメンデル集団において，表現型［a］の頻度は0.04である時の集団中の遺伝子頻度

遺伝子頻度

A	a

←

遺伝子型頻度

AA　　Aa　　aa

［A］＝0.96　　［a］＝0.04

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

ある集団中にはAとaの2つの対立遺伝子があり，集団中の遺伝子型は
AA：Aa：aa＝17：6：2の割合で存在しているとする。この集団ではハーディ・ワインベルグの法則が成り立っているといえるか？

AA		Aa		aa
17	：	6	：	2

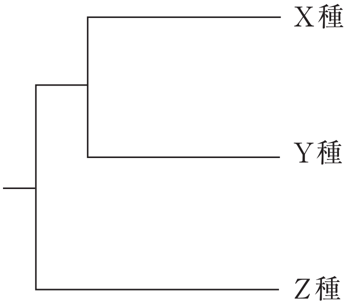
©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

■分子時計

…　DNAの塩基配列やタンパク質のアミノ酸配列が突然変異によって変化していくことを分子進化という。このとき，中立な変異ほど蓄積されやすく，異なる生物種間での配列の変化の度合いをもとに両者の系統関係を把握することができる。

化石などの証拠から，X種とY種が共通祖先から分岐したのが5000万年前であったと推定された。



ある遺伝子において，
XY間の塩基の相違は10個
XZ間の塩基の相違は17個
YZ間の塩基の相違は15個

⑴　１塩基が置換するのに約何年必要か？

⑵　X種とZ種の共通祖先と分岐したのは約何年前か？

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第46講　演習問題

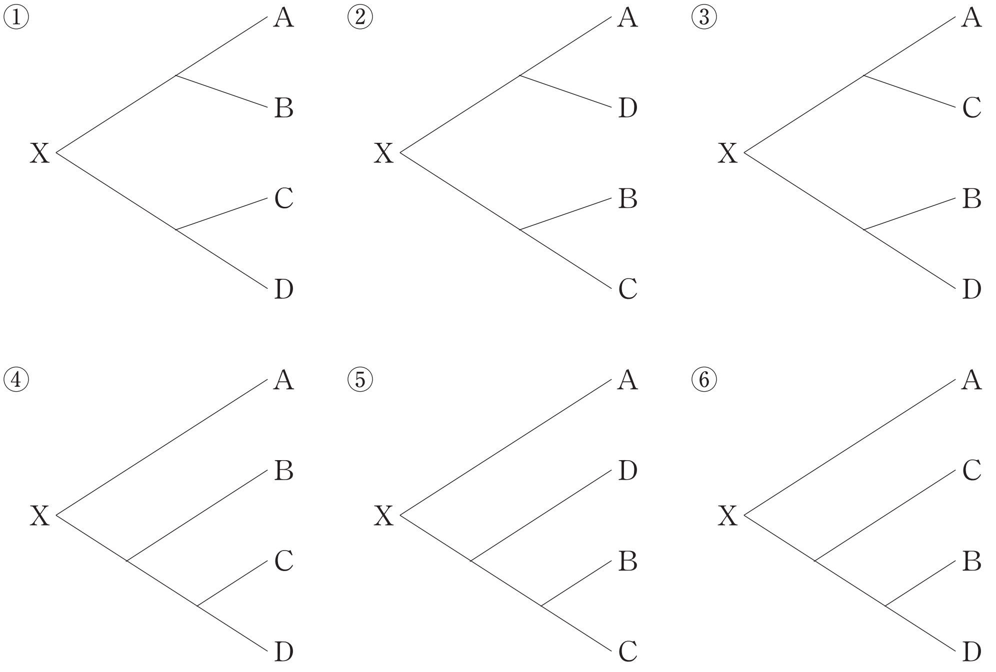
進化の道すじを調べる方法の１つとして, タンパク質分子を用いた系統解析の研究がある。表１は，４種類の生物種A，B，C，Dで共通して存在するタンパク質Pのアミノ酸配列を比較し, それぞれの間で異なっているアミノ酸の数を示したものである。この違いは, A, B, C，Dの共通祖先Xがもっていたタンパク質Pの遺伝子が長い時間を経過する間に変化し, その結果アミノ酸配列にも違いが生じたことを示している。

ここで，生物種A，B，C，Dがもつタンパク質Pのアミノ酸数が等しく，同じ場所でのアミノ酸置換は２度おこらないものとする。また共通祖先Xから生物種A，B，C，Dまでの進化的距離は等しく，化石を用いた研究により，生物種Bと生物種Cが今から2.0×10^7年前に分岐したことが分かっているものとする。

表１　タンパク質Pのアミノ酸配列の違い

	生物種A	生物種B	生物種C	生物種D
生物種A		38	36	34
生物種B			8	19
生物種C				17
生物種D				

〔1〕 表１から，４種類の生物種A，B，C，Dが共通祖先Xから分岐してきた道すじを示す系統樹として最も適当なものを下の選択肢から選べ。



©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔2〕 生物種Ｂと生物種Ｃに関するデータから，このタンパク質Ｐを構成するアミノ酸１つが変化（置換）するのにかかる時間（単位は年）を計算し，２桁の数字と指数で，例えば2.0×10^7のように答えよ。

〔3〕 この４種の生物Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄが共通祖先Ｘから分岐したのは今から何年前になるかを計算し，２桁の数字と指数で，例えば2.0×10^7のように答えよ。

〔4〕 実際には，進化の過程でおこるアミノ酸の置換速度は，タンパク質またはペプチドの種類によって異なることが知られている。ヒストンとフィブリノペプチド（注：フィブリン前駆体から血液凝固機能をもつフィブリンに成熟する際に切り離されるペプチド）のアミノ酸配列の置換速度に関して，下の記述のうち正しいものを１つ選べ。

① 生物にとって重要な機能をもつタンパク質またはペプチドほどアミノ酸配列の置換速度が速いため，ヒストンの方が速い。
② 生物にとって重要な機能をもつタンパク質またはペプチドほどアミノ酸配列の置換速度が速いため，フィブリノペプチドの方が速い。
③ 生物にとって重要な機能をもつタンパク質またはペプチドほどアミノ酸配列の置換速度が遅いため，ヒストンの方が遅い。
④ 生物にとって重要な機能をもつタンパク質またはペプチドほどアミノ酸配列の置換速度が遅いため，フィブリノペプチドの方が遅い。

〔5〕 あるヒト集団においてABO式血液型（表現型）を調べたところ，Ａ型が55%，Ｂ型が16%，Ｏ型が９%，AB型が20%であった。このヒト集団ではハーディ・ワインベルグの法則が成り立つものとして，このヒト集団におけるＡ型遺伝子，Ｂ型遺伝子，Ｏ型遺伝子の頻度を求め，それぞれもっとも簡単な分数にして答えよ。

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第46講　確認テスト

Ⅰ

ハーディー・ワインベルグの法則が成り立っている100人のヒト集団について，ABO式血液型を2種類の血清（A型血清とB型血清）を用いて調べた。A型血清で凝集反応を示す人が36人，B型血清で凝集反応を示す人が51人，どちらの血清でも凝集反応を示さない人が25人であった。以下の問いに答えよ。

問１　各血液型の人数を求めよ。

A型の人数
① 12　② 24　③ 25　④ 36　⑤ 39　⑥ 51

B型の人数
① 12　② 24　③ 25　④ 36　⑤ 39　⑥ 51

AB型の人数
① 12　② 24　③ 25　④ 36　⑤ 39　⑥ 51

O型の人数
① 12　② 24　③ 25　④ 36　⑤ 39　⑥ 51

問２　ABO式血液型は，それぞれの血液型に対応している１遺伝子座の3対立遺伝子A，B，Oによって上記４種類の血液型が決められているとする。上の文章にある集団における，各対立遺伝子の頻度［%］を求めよ。

*A*の頻度
① 10　② 20　③ 30　④ 40　⑤ 50　⑥ 60

*B*の頻度
① 10　② 20　③ 30　④ 40　⑤ 50　⑥ 60

*O*の頻度
① 10　② 20　③ 30　④ 40　⑤ 50　⑥ 60

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

Ⅱ

DNAの遺伝情報は，RNAに転写され，タンパク質のアミノ酸配列に翻訳される。アミノ酸配列を生物種間で比較すると類縁関係を推測できる。以下の５生物種のヘモグロビンα鎖（141アミノ酸からなる分子）を比較し，２生物種間で異なるアミノ酸の数を表で示した。分子時計（アミノ酸の違い方と分岐してからの年代とには直線的な関係がある）が成り立つ条件のもとで，以下の問いに答えよ。

生物種	ウシ	イヌ	イモリ	コイ
ヒト	17	23	62	68
ウシ		28	63	65
イヌ			65	67
イモリ				74

問３　ヒトとウシがその共通祖先から分岐したのが約8,000万年前と考えられている。ヘモグロビンα鎖のアミノ酸座位１個にアミノ酸置換の起こる率は，１年あたりどの位になるか。

①　1.5×10^{-9}　②　3×10^{-9}　③　5×10^{-9}　④　8×10^{-9}
⑤　1.5×10^{-10}　⑥　3×10^{-10}　⑦　5×10^{-10}　⑧　8×10^{-10}

問４　ヒトとコイが共通の祖先から分岐したのは，今からおよそ何年前になるのか選べ。

①　5,000万年前　②　１億年前　③　３億年前　④　６億年前
⑤　10億年前　⑥　30億年前

問５　ヒトとゴリラのヘモグロビンα鎖は，１個のアミノ酸しか違わない。共通祖先から分岐したのはおよそ何年前になるか選べ。

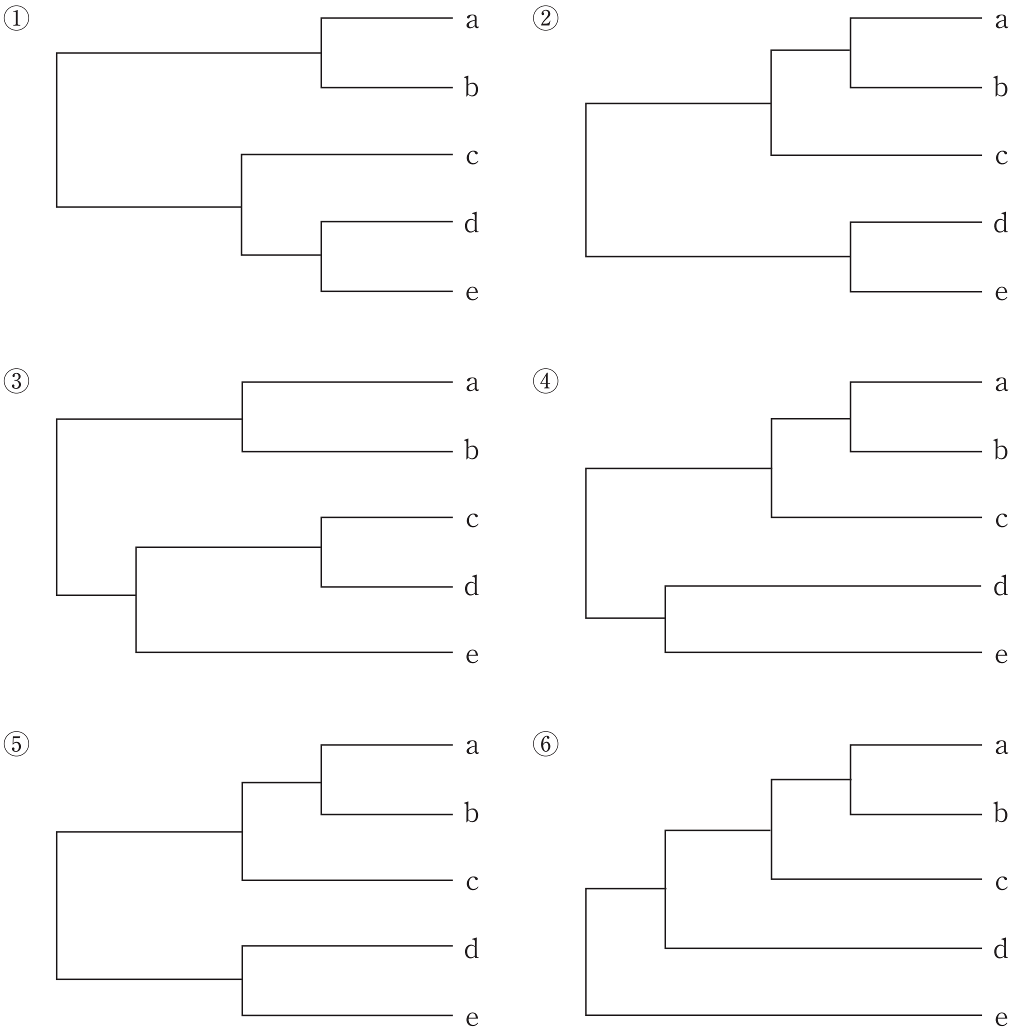
①　200万年　②　500万年　③　800万年　④　1,000万年
⑤　1,500万年　⑥　2,000万年

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問６　a，b，c，d，eの５生物種のある領域の塩基配列の相対的な違い方を下記の表で示した。これら５生物種について，分子時計を基に系統樹を作成した。どの様な形になったか下から選べ。

生物種	a	b	c	d	e
a	0	1	2	4	4
b		0	2	4	4
c			0	4	4
d				0	3



系統樹

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第46講　演習問題

問１　〔1〕 ⑤

〔2〕 5.0×10^6 年

〔3〕 9.0×10^7 年前

〔4〕 ③

〔5〕 A $\frac{1}{2}$　B $\frac{1}{5}$　O $\frac{3}{10}$

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第46講　確認テスト

A

問１　A型　⑤　　B型　②　　AB型　①　　O型　③

問２　A　③　　B　②　　O　⑤

B

問３　⑧　　問４　③　　問５　②　　問６　④

【解説】

問１　集団中の A型，B型，AB型，O型の人の人数をa，b，c，dとする。合計100人であるので，$a+b+c+d=100$である。A型血清で凝集反応を示す人はB型かAB型であるので，$b+c=36$，B型血清で凝集反応を示す人はA型かAB型であるので，$a+c=51$となる。また，どちらの血清でも凝集反応を示さないのはO型であるので，$d=25$となる。以上より，$a+b+c=75$であり，各辺から，$b+c=36$をひくと，$a=39$となる。$a+c=51$なので，$c=12$，さらに，$b+c=36$より，$b=24$となる。

問２　集団中の遺伝子A，B，Oの頻度をそれぞれp，q，rとする。対立遺伝子はこの3つのみなので，$p+q+r=1$である。この集団はハーディ・ワインベルグの法則が成立しているので，遺伝子頻度から遺伝子型頻度を計算することが出来る。

	pA	qB	rO
pA	$p^2\ AA$	$pqAB$	$prAO$
qB	$pqAB$	$q^2\ BB$	$qrBO$
rO	$prAO$	$qrBO$	$r^2\ OO$

上記の表より，O型はr^2のOOのみなので，$r^2=\frac{25}{100}$とり，$r=0.5$。また，A型はp^2のAAと$2pr$のAOのみなので，$p^2+2pr=\frac{39}{100}$となる。$r=0.5$より，$p^2+p=0.39$，$(p-0.3)(p+1.3)=0$より，$p=0.3$となる。また，$q=0.2$となる。

問３　ヒトとウシのヘモグロビンα鎖のアミノ酸配列の違いは17個である。これは，8000万年前の分岐から現在までに平均$\frac{17}{2}$個ずつの変異が蓄積し，現状で両者を比較して17個のアミノ酸が異なると考えられる。ゆえに，ヘモグロビンα鎖のアミノ酸座位１個に１年でアミノ酸置換が起こる率をxとすると，$x\times141\times8000\times10^4=\frac{17}{2}$が成り立つ。ゆえに，$x\fallingdotseq7.53\cdots\times10^{-10}$となる。最も妥当なのは⑧となる。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問４　ヒトとコイが共通祖先から分岐してからの，両者ヘモグロビンα鎖のアミノ酸置換数の平均は，$68\div2=34$個である。ウシとヒトの比較から8000万年で，$\frac{17}{2}$個，すなわち平均8.5個のアミノ酸置換が起きることから，ヒトとコイが共通祖先から分岐してからの年数をyとすると，$8000\times10^4:8.5=y:34$が成り立つ。ゆえに，$y=8000\times10^4\times34/8.5=3.2\times10^8$年，つまりヒトとコイが共通祖先から分岐したのは3億2000万年前となる。もっとも妥当なのは③となる。

問５　ヒトとゴリラのヘモグロビンα鎖が1個のアミノ酸しか違わないということは，両者が共通祖先から分岐してから，平均0.5個のアミノ酸が置換する程度の時間が経過したと考えることができる。ウシとヒトのヘモグロビンα鎖の比較から，8000万年で平均8.5個のアミノ酸置換が起きることが分っているので，ヒトとゴリラが共通祖先から分岐してからの年数をzとすると，$8000\times10^4:8.5=z:0.5$が成り立つ。ゆえに，$z=\frac{8000\times10^4\times0.5}{8.5}\fallingdotseq471\times10^4$年，つまりヒトとゴリラが共通祖先から分岐したのは471万年前となる。もっとも妥当なのは②となる。

問６　表より，もっとも最近共通祖先から分岐したのはａとｂである。ゆえに，ｄとｅがａとｂと同程度に近縁であるように表現されている①や②，ｃとｄが近縁であるかのように表現されている③は不適切である。表よりａ，ｂ，ｃにとってｄとｅは同程度の遺伝的距離にいることになる。⑥はａ，ｂ，ｃにとってｅよりもｄの遺伝的距離が近いように表されているので不適切である。残りの④と⑤の差は，ｄとｅの分岐点である。⑤はａとｃの遺伝的距離とｄとｅの遺伝的距離が同適度であるように表現されているが，表よりａとｃの塩基配列の差が2，ｄとｅの塩基配列の差が3と両者が異なることと矛盾する。もっとも表の結果を反映させた系統樹は④となる。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。